Ватагин Сергей Григорьевич, аспирант; Седов Алексей Львович, аспирант
Научный руководитель: Кожушко Герман Георгиевич, проф., д-р. техн. наук

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ ЛИФТОВОЙ ЛЕБЕДКИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ

Рассматривается метод диагностики механизмов машин, основанный на измерении статической жесткости механизма. В качестве диагностического признака используется плотность распределения вероятностей величины жесткости диагностируемого механизма в заранее выбранной точке при многократном нагружении статической силой, носящей случайный по величине характер с заданным законом распределения. Распознавание дефектов осуществляется на основе сопоставления эталонных гистограмм с текущей, предъявленной к распознаванию.

Жесткость является важной технологической характеристикой механизмов машин и в ряде случаев нормируется, например для механизмов станков, роботов. Зависимость жесткости от конструктивных параметров механизма - геометрических размеров звеньев, микронеровности и твердости сопрягаемых поверхностей в кинематических парах, механических свойств материалов и пр. - делает ее "чувствительной" к отклонениям этих параметров от номинальных, регламентированных величин.

На рис. 1 приведена схема механизма вала канатоведущего шкива на опорах качения. Это упругая балка на податливых опорах. Конструктивными параметрами, определяющими жесткость механизма в точке А, являются жесткости задней C_1 и передней C_2 опор, а также защемляющая опора C_3, выполненная в виде упорных подшипников.

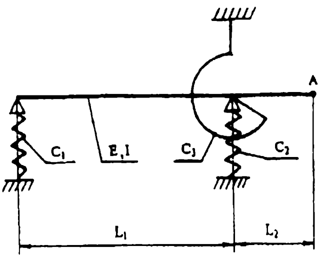

Рис.1. Схема механизма вала канатоведущего шкива

Сам вал канатоведущего шкива имеет изгибную жесткость, определяемую моментом инерции сечения I, модулем упругости материала E, линейными размерами L_1 и L_2. Отклонения этих параметров от нормативных значений в результате износа, пластического деформирования, усталостных явлений или вариаций в качестве изготовления и сборки механизма приводят к изменениям жесткости механизма в точке А. Недопустимые отклонения этих параметров являются источниками дефектов механизма, в этом случае жесткость может быть информативным измеряемым сигналом, используемым для распознавания.

Предлагается использовать плотность распределения вероятностей величины жесткости диагностируемой конструкции или обратной ей величины – податливости в заранее выбранной точке механизма при многократном воздействии на него статической силой, с заданным законом распределения. Распознаваемые дефекты – разрушение рабочих поверхностей в кинематических парах, трещины в отдельных звеньях, изменение механических свойств материалов, пластическое деформирование деталей и пр. – оказывают существенное и одновременно индивидуальное влияние на величину жесткости при различной степени деформации диагностируемого механизма. Именно различия в зависимости жесткости механизма от степени его деформации при различных дефектах и предлагается использовать для распознавания.

Отклонение какого-либо параметра p_i ($i=1,2, ..., n$) механизма от номинального значения p_{0i} приводит к изменению функциональной зависимости жесткости C от величины приложенной тестирующей силы F. Если подвергать испытываемую конструкцию многократному нагружению силой F, носящей случайный по величине характер с заданным законом распределения, то отклонение каждого отдельного параметра характерным образом изменит плотность распределения величины жесткости. Рассмотрим подробнее предлагаемый метод. Величина деформации x диагностируемого механизма в заранее выбранной точке от действия статически приложенной силы F равна

$$x = \frac{F}{C}. \qquad (1)$$

Величина C является функцией конструктивных параметров механизма p_i. Однако зависимость (1) x от F, как правило, не является линейной. Жесткость C всегда зависит от величины деформации x, так как в процессе нагружения происходит непрерывное перераспределение нагрузок в местах контакта поверхностей кинематических пар. Поэтому рассматриваем жесткость C как функцию параметров p_i, и величины действующей силы F

$$C = \varphi(p_1, p_2, ..., p_n; F). \qquad (2)$$

Функция φ монотонна и непрерывна относительно независимого аргумента F. Следовательно, для нее всегда существует обратная функция R относительно C и F.

$$F = R(p_1, p_2, ..., p_n; C). \qquad (3)$$

В том случае, когда параметры p_i имеют вполне определенные и фиксированные величины, а сила F принимает случайные значения, зависимость (2) является детерминированной функцией случайного аргумента F. При заданной плотности распределения вероятностей f(F) величины силы F в процессе испытаний можно определить плотность распределения вероятностей Ф(C) величины жесткости C, которая имеет вид

$$\Phi(C) = f(R(p_1, p_2, ..., p_n; C)) \times \partial R(p_1, p_2, ..., p_n; C) \partial C. \qquad (4)$$

Если в конструкции присутствует дефект, то это соответствует отклонению какого-либо одного или нескольких значений параметров p_i, от своих номинальных значений. Это приводит к изменению функциональных зависимостей (2), (3) и к изменению плотности распределения Ф(C) в (4) при неизменной плотности распределения f(F). При этом каждый из параметров p_i в (2) индивидуальным образом влияет на величину C и ее плотность распределения в (4). Это обстоятельство позволяет по функции распределения плотности вероятности жесткости Ф(C), а практически по форме кривой Ф(C) распознавать конкретные дефекты.

На практике диагностируемые конструкции нагружаются дискретным конечным набором тестирующих воздействий F_j ($j = 1, 2, ..., m$), распределенных по заданному закону. Следовательно, и величины жесткости C_j образуют дискретный набор квазислучайных значений, а распределение Ф(С) изображается в форме гистограмм. Распознавание осуществляется путем сопоставления эталонных гистограмм, полученных заранее для каждого возможного дефекта, с текущей гистограммой, предъявленной к распознаванию.

Возможность превентивного обнаружения зарождающихся дефектов механизма основана на высокой чувствительности отклонений δC жесткости С от номинального значения C_0 при малых отклонениях δp_i параметров конструкции и как следствие этого – изменении внутренней структуры статистического массива $\{C\}$. Отражением эволюции статистических свойств массива $\{C\}$ служит закон распределения Ф(С), используемый в дифференциальной форме с целью еще большего повышения чувствительности самого метода. Форма гистограмм претерпевает заметные и устойчивые изменения при появлении того или иного дефекта.

Задача о выборе по критерию надежности распознавания функции плотности распределения f(F) силы F представляет самостоятельный интерес и в настоящей работе не рассматривается.